

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-38078

(43) 公開日 平成7年(1995)2月7日

(51) Int. Cl.⁴H 0 1 L 29/86
29/06

識別記号

庁内整理番号

P I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平5-197715

(22) 出願日 平成5年(1993)7月16日

特許法第30条第1項適用申請有り 1993年3月29日、社団法人応用物理学会発行の「1993年春季第40回応用物理学関係連合講演会予稿集第3分冊」に発表

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 寒川 哲巨

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 安藤 精俊

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 安藤 弘明

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大塚 孝

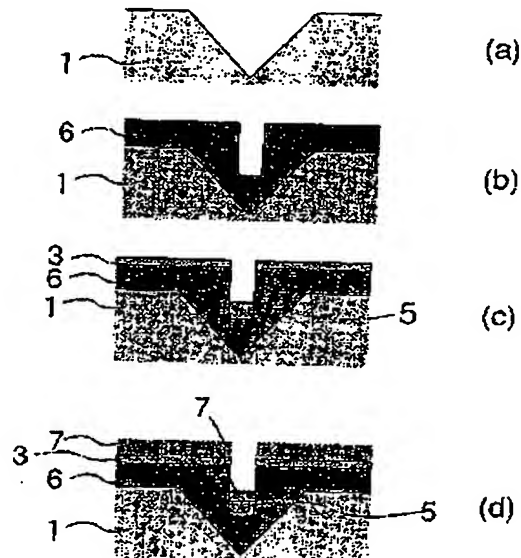
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体量子細線の製造方法

(57) 【要約】

【目的】 矩形の断面形状を有し、量子細線の幅の微細化と制御性の向上を図ることができる半導体量子細線の製造方法を提供する。

【構成】 V溝加工した(001)化合物半導体基板の該V溝側の表面に有機金属気相成長法により第一の化合物半導体からなる量子隔壁薄膜を該V溝を埋没するように形成する第一の工程と、前記量子隔壁薄膜内に前記基板の面に対して垂直な(110)面を有する結晶面を側壁に持つU字形状の溝を該V溝の位置に形成する第二の工程と、第二の化合物半導体からなる量子井戸薄膜を前記U字形状の溝の底部に形成する第三の工程と、前記第一の化合物半導体と同一または異種の化合物半導体からなる量子隔壁薄膜を該量子井戸薄膜を形成したU字形状の溝を埋没するように形成する第四の工程とを含む構成を有している。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 V溝加工した(001)化合物半導体基板の該V溝側の表面に有機金属気相成長法により第一の化合物半導体からなる量子障壁薄膜を該V溝を埋没するように形成する第一の工程と、前記量子障壁薄膜内に前記基板の面に対して垂直な(110)面を有する結晶面を側壁に持つU字形状の溝を該V溝の位置に形成する第二の工程と、第二の化合物半導体からなる量子井戸薄膜を前記U字形状の溝の底部に形成する第三の工程と、前記第一の化合物半導体と同一または異種の化合物半導体からなる量子障壁薄膜を該量子井戸薄膜を形成したU字形状の溝を埋没するように形成する第四の工程とを含む半導体量子細線の製造方法。

【請求項2】 V溝加工した(001)化合物半導体基板の該V溝側の表面に有機金属気相成長法により第一の化合物半導体からなる量子障壁薄膜を該V溝を埋没するように形成する第一の工程と、前記V溝加工した(001)化合物半導体基板としてV溝の幅が0.2μmから0.01μmであるGaAs基板を用い、かつ第一の化合物半導体がAl_{0.7}Ga_{0.3}As層でそのAlの組成が0.7から1.0であることにより前記量子障壁薄膜内にその断面形状がU字形状の溝を前記V溝の位置に形成する第二の工程と、前記量子障壁薄膜内に前記基板の面に対して垂直な(110)面を有する結晶面を側壁に持つU字形状の溝を該V溝の位置に形成する第二の工程と、第二の化合物半導体からなる量子井戸薄膜を前記U字形状の溝の底部に形成する第三の工程と、前記第一の化合物半導体と同一または異種の化合物半導体からなる量子障壁薄膜を該量子井戸薄膜を形成したU字形状の溝を埋没するように形成する第四の工程とを含む半導体量子細線の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体装置の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】新しい電子機能および光機能を有する半導体デバイスの実現をめざして、半導体量子細線に関する研究が進展している。一般に、半導体量子細線は、化合物半導体基板上に基板と材料あるいは組成の異なる薄膜を形成したもので、その膜厚および膜幅が100nm以下という極めて微細な化合物半導体層を埋め込んだ構造であるため、半導体材料への微細加工技術と分子層あるいは原子層を制御する結晶成長技術を利用した製造方法が検討されている。半導体量子細線の従来例として、GaAs基板上に形成されたGaAs量子細線の構造を図11に示す。これは予めV溝を形成したGaAs基板1上に、有機金属気相成長法による成長層の厚さ方向と溝方向との成長速度の差を利用して、V溝底部に3角形あるいは三日月状の断面形状を有する量子細線5を実現

2

するものである。この量子細線の製造工程を図12に示す。はじめに、(001)GaAs基板上にV溝を形成する。これは基板上にストライプ状のエッチングマスクを外1方向に配したのち、化学エッチングにより(111)A面が側面に現れたV溝8を形成する(a)。V溝8の大きさ(幅)は約2μmである。次に、有機金属気相成長法によって、AlGaAs層2(b)、GaAs層3(c)、AlGaAs層4を順次成長する(d)。ここでGaAs層3の成長においてはGaAs層3はV溝側壁にほとんど成長せず、V溝底部のみ成長するためGaAs量子細線5が形成される。

【0003】

【外1】

<T10>

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の量子細線の製造方法には次のような欠点がある。まず、V溝を利用するために断面形状が3角あるいは三日月状の量子細線のみしか得られないことである。このため、量子細線は縦方向の厚みに比べて溝幅が大きくなるため、溝方向の量子効果が縦方向の量子効果に比べて弱くなる。また、量子細線の溝幅及び厚みをそれぞれ単独に制御することが不可能であり、所望の溝幅あるいは厚さの量子細線を実現できないことである。

【0005】本発明の目的は、矩形の断面形状を有し、量子細線の溝幅の微細化と制御性の向上を図ることができる半導体量子細線の製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の半導体量子細線の製造方法は、V溝加工した(001)化合物半導体基板の該V溝側の表面に有機金属気相成長法により第一の化合物半導体からなる量子障壁薄膜を該V溝を埋没するように形成する第一の工程と、前記量子障壁薄膜内に前記基板の面に対して垂直な(110)面を有する結晶面を側壁に持つU字形状の溝を該V溝の位置に形成する第二の工程と、第二の化合物半導体からなる量子井戸薄膜を前記U字形状の溝の底部に形成する第三の工程と、前記第一の化合物半導体と同一または異種の化合物半導体からなる量子障壁薄膜を該量子井戸薄膜を形成したU字形状の溝を埋没するように形成する第四の工程とを含む構成を有している。

【0007】

【作用】微細寸法のV溝を形成した基板への第一層目の半導体障壁薄膜の結晶成長において、基板に対して垂直な(110)面あるいは垂直に近い傾きを持つ結晶面が現れる成長条件を用いることによりU字形状の溝を形成する。このU字形状の溝幅の制御により量子細線の溝幅の制御を行う。続いて第二層目の半導体量子井戸薄膜の結晶成長でU字形状の溝内に形成する量子細線の厚さの制御を行う。このため、本発明は量子細線の溝幅および

厚みを独立に制御可能であるため、任意の縦横比を有する量子細線を実現することができる。さらに、縦方向（基板の厚さ方向）に量子細線を多重に積層した多量量子細線を実現することができる。

【0008】

【実施例】本発明を以下の実施例により詳細に説明する。

（実施例1）化合物半導体材料としてGaAsを基板とし、Al、Ga、As層に埋め込まれたGaAsの量子細線の製造について説明する。本発明により製造された量子細線の基板構造を図1に示す。ここで、量子細線は5の部分である。本発明の製造工程を図2に示す。以下順次説明する。

（1）はじめに、従来の方法と同様に（001）GaAs基板1にストライプ状のエッチング用マスクを外2方向に配し、化学エッチングによりV溝9を形成する（a）。ただし、このV溝の大きさは、後述するように従来の十分の一以下である。

【0009】

【外2】

< T 1 0 >

【0010】（2）次に、GaAs基板1の成長温度を620℃、成長圧力を76Torrとして有機金属気相成長法により、V溝9を埋没するようにAl、Ga、As層6の成長を行い、V溝6の中央部に位置するAl、Ga、As層6内にU字形の溝10を形成する。原料は、トリメチルアルミニウム（TMAI）、トリメチルガリウム（TMGa）およびアルシン（AsH₃）を使用した。このU字形の溝10の形成は成長条件に依存する。図3にU字形の溝の形成について、基板のV溝9の大きさW（幅）とAl組成xとの関係を示す。図3において、×印は従来と同様にV字形の溝の形成を示し、○印はU字形の溝10の形成を示している。U字形の溝10の形成は、基板のV溝の大きさ（幅）が0.01μm～0.20μmの範囲で、かつ、Al、Ga、As層6のAlの組成xが0.7～1.0の範囲のみ可能である。この成長条件では、基板に垂直な（110）面または垂直に近い傾きを持つ高指数面がV溝の側壁に現れ、U字形の溝10が形成される（b）。

（3）U字形の溝10へのGaAs層3および5の成長を行う（c）。この時、Ga原子の多くは表面を拡散し、ステップおよびキンク密度の多いU溝底部に取り込まれる。従って、（110）側壁面上および（001）Al、Ga、As層6の表面上ではほとんどGaAs層の成長が生じず、U字形の溝10の底部にGaAs層5の量子細線を選択的に成長することができる。GaAsの量子細線の幅は前記（2）の工程におけるAl、Ga、As層6の成長条件により制御することができ、量子細線の厚さはこのGaAs層5の成長時間により制御可能となる。

（4）続いて、Al、Ga、As層7を成長する（d）。以上の製造工程でGaAs量子細線5を四方向からGaAsよりポテンシャルエネルギーの高いAl、Ga、As層6、7で閉じ込めることができる。

【0011】本発明で製造したGaAs量子細線を図4に示す。走査型電子顕微鏡（SEM）による観察例であり、観察倍率は15万倍である。70nmのV溝幅のGaAs基板上にAl、Ga、As層で埋め込まれた矩形形状のGaAs量子細線が実現されている。この観察例では、Al、Ga、As層6のAlの濃度は1.0であり、すなわちGaAs量子細線はAlAs層で埋め込まれている。

【0012】本発明との比較のために、従来技術によるGaAs量子細線を図5に示す。観察倍率は15万倍である。100nmのV溝幅のGaAs基板上にAl、Ga、As層で埋め込まれた三日月形状のGaAs量子細線が実現されている。このような三日月形状の量子細線ではその幅や高さを独立に制御することができないことがわかる。

【0013】本発明により製作されたGaAs量子細線を評価するために、フォトルミネッセンス（PL）による測定例を図6に示す。PL法は製造した量子細線基板に単色光を入射し、その発光を観測するもので、波長を掃引することにより半導体材料を評価することができる。PL測定での基板温度は15Kであり、量子細線の幅は19nm、その高さは14nmである。波長793nmにおいて急峻なピークを観測することができ、その半値全幅は19meVであり、量子細線からの発光であることがわかる。量子細線のPL偏光特性を図7に示す。これは観測したPL強度について、量子細線に平行な直線偏光成分と垂直な直線偏光成分との比をPL偏光度とし、量子細線の断面形状の比すなわち縦横比（a）と厚さ（b）との比（a/b）との関係を示したものである。図7より、a/b比の低下にともない偏光度が高くなることを示している。すなわち、この高い偏光度は量子細線による電子の縦および厚さ方向の2次元的な閉じ込めが強いということを示している。本発明による断面形状が矩形の量子細線（a/b=1）では偏光度が30%を超えており、従来の断面形状が三日月状の量子細線に比べて3倍以上の顕著な特性を示している。

【0014】（実施例2）基板の厚さ方向に量子細線を積層した多量量子細線の実施例について述べる。図2に示した実施例1の製造工程において、U字形の溝を形成後に、GaAs層5およびAl、Ga、As層7の成長工程（c）および（d）を複数回繰り返すことにより、U字形の溝に量子細線を積層した。図8、図9は多量量子細線を示したもので、図8は断面構造図、図9は製造した多量量子細線のSEMによる観察像である。幅が約30nmで深さが約100nmのU字形のAl、Ga、As層6の溝内に、GaAs層5の量子細線

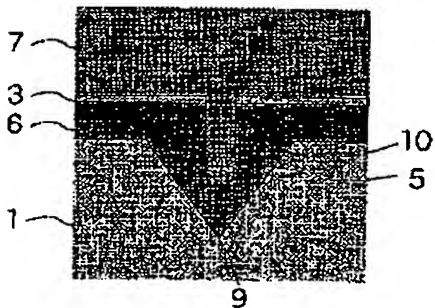
が2層積層していることがわかる。製造した多重量子細線のPL特性を図10に示す。測定温度は15Kである。波長が750nmおよび780nmにおいて二つのPL強度ピークが観測され、二つの量子細線からの発光が分離して観測された。本実施例では二つの量子細線を積層した例を示したが、本発明の製造方法では基板の厚さ方向に複数の量子細線を実現することが可能であり、さらにその量子細線の高さ(厚さ)を所望の値に制御することができるために、例えば高さの異なる量子細線を複数個配置した高さ変調の多重量子細線なども実現することができる。

【0015】以上説明したように、本発明はV溝基板を用いた有機金属結晶成長法において、基板に対して垂直または垂直に近い結晶面を壁面に有するU字形状の溝を形成することにより、矩形あるいは矩形に近い断面形状を有する量子細線を製造することができること、さらにこの溝の溝幅およびこの溝内に埋め込まれる量子細線の厚さを量子閉じ込め効果が生じる20nm以下の大きさの領域において、原子層単位で制御することが可能である。本発明の実施例では、Al、Ga、As層/GaAs層系材料で説明したが、GaInP/GaAs、GaInAs/InP等のIII-V族半導体およびその混晶系、ZnSe/GaAs等のII-VI族半導体およびその混晶系によっても実現することができる。

【0016】

【発明の効果】本発明は、結晶成長固有の現象を利用して、量子閉じ込め効果が生じる20nm以下の領域において、量子細線の縦横両方向の大きさを分子層あるいは原子層単位で制御することができるため、超高発光効率の量子細線レーザーあるいは超高速の量子細線トランジスタを実現することができる。

【図1】



*【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による量子細線の断面図である。

【図2】本発明の量子細線の製造工程を説明するための断面図である。

【図3】第一層のU字形状溝の作製条件を示す特性図である。

【図4】本発明による量子細線の観察写真である。

【図5】従来例による量子細線の観察写真である。

【図6】本発明による量子細線のPL特性図である。

【図7】本発明による量子細線のPL偏光度特性図である。

【図8】本発明による多重量子細線を示す断面構造図である。

【図9】本発明による多重量子細線を示す断面観察写真である。

【図10】本発明による多重量子細線のPL特性図である。

【図11】従来の量子細線の断面図である。

【図12】従来の量子細線の製造工程を説明するための断面図である。

【符号の説明】

1 (001) GaAs-V溝加工基板

2 AlGaAs成長層

3 GaAs成長層

4 AlGaAs成長層

5 GaAs量子細線

6 AlAsまたはAlGaAs成長層

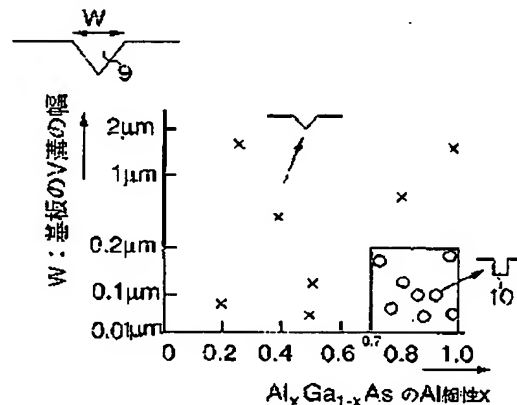
7 AlAsまたはAlGaAs成長層

8 V溝(V字形状の溝)

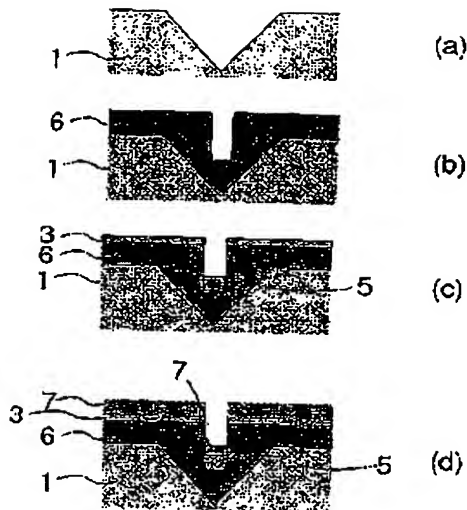
9 V溝(V字形状の溝)

10 U字形状の溝

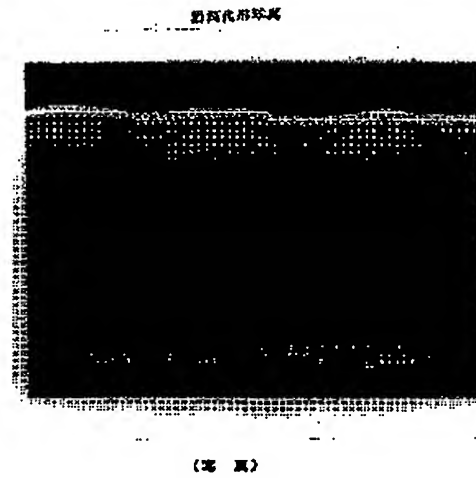
【図3】



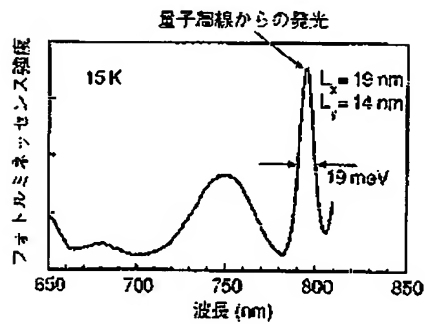
【図2】



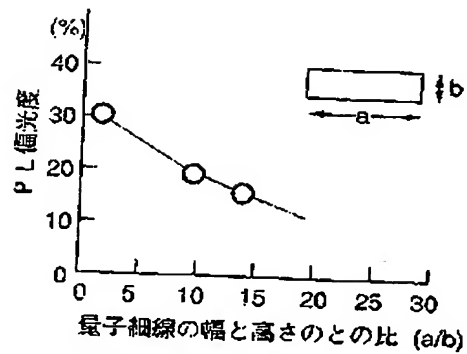
【図5】



【図6】



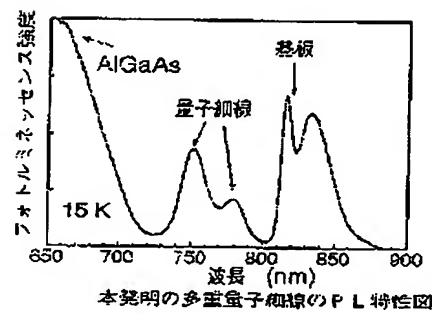
【図7】



【図8】

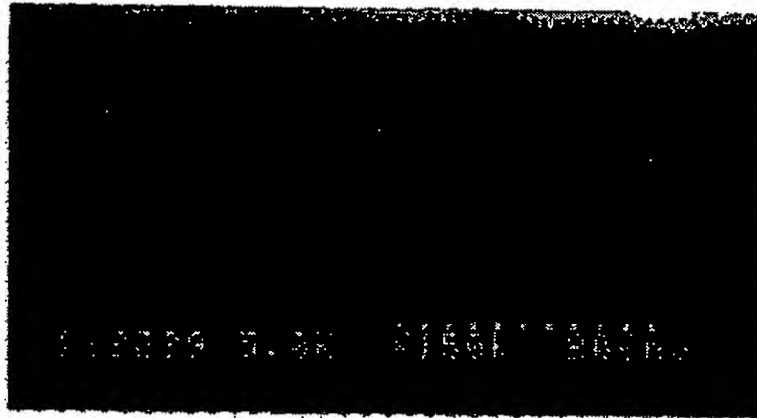


【図10】



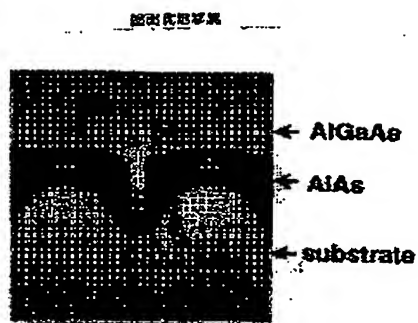
【図4】

図面化用写真



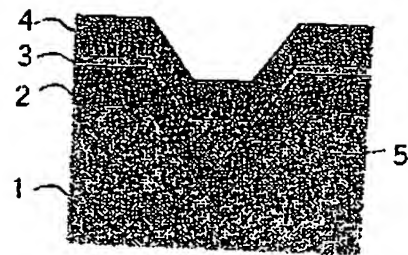
《写真》

【図9】

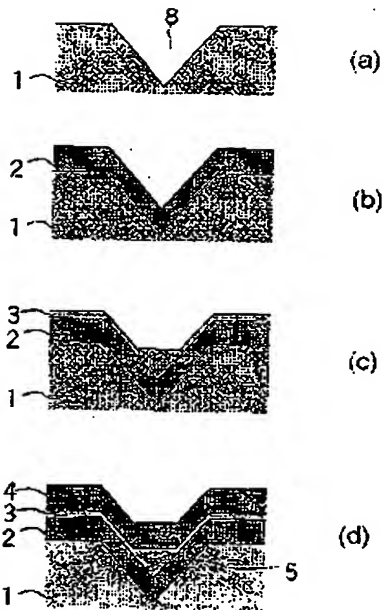


《写真》

【図11】



【図12】



【手続補正書】

【提出日】平成6年1月17日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図9

* 【補正方法】変更

【補正内容】

【図9】本発明による多重量子細線を示す断面観察写真

* である。

フロントページの続き

(72)発明者 神戸 宏

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.